

W. C. Röntgen: Ueber eine neue Art von Strahlen.

(Vorläufige Mittheilung.)

1. Lässt man durch eine *Hittorf'sche* Vacuumröhre, oder einen genügend evacuirten *Lenard'schen*, *Crookes'schen* oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren *Ruhmkorff's* gehen und bedeckt die Röhre mit einem ziemlich eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzem Carton, so sieht man in dem vollständig verdunkelten Zimmer einen in die Nähe des Apparates gebrachten, mit Bariumplatincyannur angestrichenen Papierschirm bei jeder Entladung hell aufleuchten, fluoresciren, gleichgültig ob die angestrichene oder die andere Seite des Schirmes dem Entladungsapparat zugewendet ist. Die Fluorescenz ist noch in 2 m Entfernung vom Apparat bemerkbar.

Man überzeugt sich leicht, dass die Ursache der Fluorescenz vom Entladungsapparat und von keiner anderen Stelle der Leitung ausgeht.

2. Das an dieser Erscheinung zunächst Auffallende ist, dass durch die schwarze Cartonhülse, welche keine sichtbaren oder ultravioletten Strahlen des Sonnen- oder des elektrischen Bogenlichtes durchlässt, ein Agens hindurchgeht, das im Stande ist, lebhaftes Fluorescenz zu erzeugen, und man wird deshalb wohl zuerst untersuchen, ob auch andere Körper diese Eigenschaft besitzen.

Man findet bald, dass alle Körper für dasselbe durchlässig sind, aber in sehr verschiedenem Grade. Einige Beispiele führe ich an. Papier ist sehr durchlässig: ¹⁾ hinter einem eingebundenen Buch von ca. 1000 Seiten sah ich den Fluorescenzschirm noch deutlich leuchten; die Druckerschwärze bietet kein merkliches Hinderniss. Ebenso zeigte sich Fluorescenz hinter einem doppelten Whistspiel; eine einzelne Karte zwischen Apparat

¹⁾ Mit „Durchlässigkeit“ eines Körpers bezeichne ich das Verhältniss der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper gehaltenen Fluorescenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welcher dieser unter denselben Verhältnissen aber ohne Zwischenschaltung des Körpers zeigt.

W. C. Röntgen : Une nouvelle sorte de rayonnements

1. Si la décharge d'une bobine d'induction de bonne taille est effectuée dans un tube à vide de *Hittorf* ou un tube de *Lenard* ou un tube de *Crookes* ou similaire dans lequel règne un vide suffisant, le tube étant recouvert d'un carton fin de couleur noire réalisant une étanchéité acceptable et si le tube est placé dans une pièce totalement sombre, on observe à chaque décharge une illumination brillante d'un écran de papier recouvert de platino-cyanide de baryum, placé au voisinage de la bobine d'induction, la fluorescence ainsi produite étant indépendante du fait que la surface enduite du papier ou son autre face est dirigée vers le tube à décharge. Cette fluorescence est visible même si l'écran de papier est distant de deux mètres de l'appareil. Il est aisé de prouver que la cause de la fluorescence est liée à l'appareil de décharge et non à un point quelconque du circuit conducteur.

2. La propriété la plus étonnante de ce phénomène est le fait qu'un agent actif passe dans cette expérience au travers d'une enveloppe de carton noir, qui est opaque au rayonnement visible et ultraviolet du soleil ou de l'arc électrique; un agent qui a également la possibilité de produire une fluorescence active. Nous allons d'abord chercher si d'autres corps possèdent cette propriété. Nous avons vite découvert que tous les corps sont transparents à cet agent, bien qu'à différents degrés. Je vais en donner quelques exemples: le papier est très transparent¹; derrière un livre relié d'environ 1000 pages j'observe un écran fluorescent brillant, l'encre d'imprimerie ne causant qu'une atténuation à peine visible. De la même façon, la fluorescence apparut derrière un double paquet de cartes, une carte unique placée entre

¹ Par 'transparence' d'un corps je note la brillance relative d'un écran fluorescent placé près du corps, comparée à la brillance que l'écran démontre dans les mêmes circonstances sans l'interposition du corps testé.

und Schirm gehalten macht sich dem Auge fast gar nicht bemerkbar. — Auch ein einfaches Blatt Stanniol ist kaum wahrzunehmen; erst nachdem mehrere Lagen über einander gelegt sind, sieht man ihren Schatten deutlich auf dem Schirm. — Dicke Holzblöcke sind noch durchlässig; zwei bis drei cm dicke Bretter aus Tannenholz absorbieren nur sehr wenig. — Eine ca. 15 mm dicke Aluminiumschicht schwächte die Wirkung recht beträchtlich, war aber nicht im Stande, die Fluorescenz ganz zum Verschwinden zu bringen. — Mehrere cm dicke Hartgummi-scheiben lassen noch Strahlen¹⁾ hindurch. — Glasplatten gleicher Dicke verhalten sich verschieden, je nachdem sie bleihaltig sind (Flintglas) oder nicht; erstere sind viel weniger durchlässig als letztere. — Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand. — Wasser, Schwefelkohlenstoff und verschiedene andere Flüssigkeiten erweisen sich in Glimmergefäßen untersucht als sehr durchlässig. — Dass Wasserstoff wesentlich durchlässiger wäre als Luft habe ich nicht finden können. — Hinter Platten aus Kupfer, resp. Silber, Blei, Gold, Platin ist die Fluorescenz noch deutlich zu erkennen, doch nur dann, wenn die Plattendicke nicht zu bedeutend ist. Platin von 0,2 mm Dicke ist noch durchlässig; die Silber- und Kupferplatten können schon stärker sein. Blei in 1,5 mm Dicke ist so gut wie undurchlässig und wurde deshalb häufig wegen dieser Eigenschaft verwendet. — Ein Holzstab mit quadratischem Querschnitt (20 × 20 mm), dessen eine Seite mit Bleifarbe weiss angestrichen ist, verhält sich verschieden, je nachdem er zwischen Apparat und Schirm gehalten wird; fast vollständig wirkungslos, wenn die X-Strahlen parallel der angestrichenen Seite durchgehen, entwirft der Stab einen dunklen Schatten, wenn die Strahlen die Anstrichfarbe durchsetzen müssen. — In eine ähnliche Reihe, wie die Metalle, lassen sich ihre Salze, fest oder in Lösung, in Bezug auf ihre Durchlässigkeit ordnen.

3. Die angeführten Versuchsergebnisse und andere führen zu der Folgerung, dass die Durchlässigkeit der verschiedenen

l'appareil et l'écran donnant une atténuation invisible à l'œil. Un feuillet simple d'étain est presque indétectable; ce n'est qu'en empilant plusieurs feuillets que leur ombre est visible distinctement sur l'écran. Des blocs de bois épais sont transparents, des planches de pin de deux ou trois centimètres d'épaisseur absorbant très peu. Une plaque d'aluminium de quinze millimètres d'épaisseur, bien qu'affaiblissant sérieusement l'action, ne fit pas disparaître totalement la fluorescence. Des feuilles de caoutchouc épais de plusieurs centimètres permettent le passage des rayons¹. Des plaques de verre, d'épaisseurs égales, se comportent tout à fait différemment, selon qu'elles contiennent du plomb (flint) ou non. Les premières sont beaucoup moins transparentes que les secondes. Si la main est interposée entre le tube à décharge et l'écran, l'ombre plus sombre des os est vue dans l'ombre légèrement marquée de la main elle-même. L'eau, le carbone, le bisulfite, et divers autres liquides, quand ils sont examinés dans des récipients en mica semblent aussi transparents. Je n'ai pas pu déterminer si l'hydrogène est plus transparent que l'air. Derrière des plaques de cuivre, argent, plomb, or et platine, la fluorescence peut être reconnue, mais seulement si l'épaisseur des plaques n'est pas trop grande. Une plaque de platine d'épaisseur 0,2 millimètre est encore transparente; l'argent et le cuivre pouvant même être plus épais. Le plomb, avec une épaisseur de 1,5 millimètre, est pratiquement opaque et compte tenu de cette propriété ce métal est souvent très utile. Un barreau de bois avec une section carrée de 20x20 mm dont un côté est peint avec une peinture blanche au plomb se comporte différemment selon la façon dont il est disposé entre l'appareil et l'écran. Il n'a, pratiquement, aucune action lorsque le faisceau de rayons X le traverse parallèlement à la face peinte; alors que le barreau projette une ombre sombre lorsque les rayons traversent perpendiculairement la face peinte. Dans une série similaire à des métaux eux-mêmes, les sels de ces métaux peuvent être classés par rapport à leur transparence, qu'ils soient sous forme solide ou en solution.

3. Les résultats expérimentaux qui viennent d'être donnés, ainsi que d'autres, mènent à la conclusion selon laquelle la transparence

¹⁾ Der Kürze halber möchte ich den Ausdruck „Strahlen“ und zwar zur Unterscheidung von anderen den Namen „X-Strahlen“ gebrauchen. Vergl. u. pag. 9.

¹ Afin d'être bref, j'utiliserai le terme 'rayons', et pour les distinguer d'autres du même nom je les appellerai 'rayons X'.

Substanzen, gleiche Schichtendicke vorausgesetzt, wesentlich bedingt ist durch ihre Dichte: keine andere Eigenschaft macht sich wenigstens in so hohem Grade bemerkbar als diese.

Dass aber die Dichte doch nicht ganz allein massgebend ist, das beweisen folgende Versuche. Ich untersuchte auf ihre Durchlässigkeit nahezu gleichdicke Platten aus Glas, Aluminium, Kalkspath und Quarz; die Dichte dieser Substanzen stellte sich als ungefähr gleich heraus, und doch zeigte sich ganz evident, dass der Kalkspath beträchtlich weniger durchlässig ist als die übrigen Körper, die sich untereinander ziemlich gleich verhielten. Eine besonders starke Fluorescenz des Kalkspathes (vergl. u. pag. 4.) namentlich im Vergleich zum Glas habe ich nicht bemerkt.

4. Mit zunehmender Dicke werden alle Körper weniger durchlässig. Um vielleicht eine Beziehung zwischen Durchlässigkeit und Schichtendicke finden zu können, habe ich photographische Aufnahmen (vergl. u. pag. 4.) gemacht, bei denen die photographische Platte zum Theil bedeckt war mit Stanniol-schichten von stufenweise zunehmender Blätterzahl; eine photometrische Messung soll vorgenommen werden, wenn ich im Besitz eines geeigneten Photometers bin.

5. Aus Platin, Blei, Zink und Aluminium wurden durch Auswalzen Bleche von einer solchen Dicke hergestellt, dass alle nahezu gleich durchlässig erschienen. Die folgende Tabelle enthält die gemessene Dicke in mm, die relative Dicke bezogen auf die des Platinbleches und die Dichte.

	Dicke	relat. Dicke	Dichte
Pt.	0,018 mm	1	21,5
Pb.	0,05 „	3	11,3
Zn.	0,10 „	6	7,1
Al.	3,5 „	200	2,6

Aus diesen Werthen ist zu entnehmen, dass keineswegs gleiche Durchlässigkeit verschiedener Metalle vorhanden ist, wenn das Produkt aus Dicke und Dichte gleich ist. Die Durchlässigkeit nimmt in viel stärkerem Masse zu, als jenes Product abnimmt.

6. Die Fluorescenz des Bariumplatincyans ist nicht die einzige erkennbare Wirkung der X-Strahlen. Zunächst ist zu erwähnen, dass auch andere Körper fluoresciren; so z. B. die

de différentes substances, supposées d'égales épaisseurs, est essentiellement conditionnée par leur densité: aucune autre propriété n'est aussi marquante, du moins à ce degré. Les expériences suivantes montrent, cependant, que la densité n'est pas la seule cause active. J'ai examiné, en référence à leur transparence, des plaques de verre, d'aluminium, de calcite et de quartz d'épaisseurs égales; et bien que ces substances ont pratiquement la même densité, il a été tout à fait évident que la calcite est sensiblement moins transparente que les autres substances qui, elles, se comportent identiquement. On n'a pas noté de fluorescence forte pour la calcite, en comparaison de celle du verre.

4. Toutes les substances deviennent moins transparentes quand on augmente leur épaisseur. Afin de trouver une possible relation entre la transparence et l'épaisseur, j'ai réalisé des photographies dont des portions de la plaque étaient recouvertes de feuilles d'étain dont le nombre était variable. Des mesures photométriques seront effectuées dès que je serai en possession d'un photomètre adéquat.

5. Des feuilles de platine, de plomb, de Zinc et d'aluminium ont été réalisées avec des épaisseurs telles qu'elles apparaissaient avoir la même transparence. La table ci-dessous donne les épaisseurs absolues de ces feuilles mesurées en millimètres, leurs épaisseurs relatives par rapport à la feuille de platine et leurs densités:

Epaisseur	Epaisseur relative	Densité
Pt = 0,018 mm	1	21,5
Pb = 0,05 mm	3	11,3
Zn = 0,10 mm	6	7,1
Al = 3,5 mm	200	2,6

Nous pouvons conclure, à partir de ces valeurs, que les différents métaux possèdent des transparences qui ne sont pas égales, même lorsque le produit de leur épaisseur par leur densité est le même. La transparence croît beaucoup plus rapidement que l'inverse de ce produit.

6. La fluorescence du platino-cyanide de baryum n'est pas le seul effet reconnaissable des rayons X. Il faut mentionner la fluorescence d'autres corps, comme, par exemple, celle des composés du

als Phosphore bekannten Calciumverbindungen, dann Uranglas, gewöhnliches Glas, Kalkspath, Steinsalz etc.

Von besonderer Bedeutung in mancher Hinsicht ist die Thatsache, dass photographische Trockenplatten sich als empfindlich für die X-Strahlen erwiesen haben. Man ist im Stande manche Erscheinung zu fixiren, wodurch Täuschungen leichter ausgeschlossen werden; und ich habe, wo es irgend anging, jede wichtigere Beobachtung, die ich mit dem Auge am Fluoreszenzschirm machte, durch eine photographische Aufnahme controllirt.

Dabei kommt die Eigenschaft der Strahlen, fast ungehindert durch dünnere Holz-, Papier- und Stanniolschichten hindurchgehen zu können, sehr zu Statten; man kann die Aufnahmen mit der in der Cassette, oder in einer Papierumhüllung eingeschlossenen photographischen Platte im beleuchteten Zimmer machen. Andererseits hat diese Eigenschaft auch zur Folge, dass man unentwickelte Platten nicht bloss durch die gebräuchliche Hülle aus Pappendeckel und Papier geschützt längere Zeit in der Nähe des Entladungsapparates liegen lassen darf.

Fraglich erscheint es noch, ob die chemische Wirkung auf die Silbersalze der photographischen Platte direct von den X-Strahlen ausgeübt wird. Möglich ist es, dass diese Wirkung herrührt von dem Fluoreszenzlicht, das, wie oben angegeben, in der Glasplatte, oder vielleicht in der Gelatineschicht erzeugt wird. „Films“ können übrigens ebenso gut wie Glasplatten verwendet werden.

Dass die X-Strahlen auch eine Wärmewirkung auszuüben im Stande sind, habe ich noch nicht experimentell nachgewiesen; doch darf man wohl diese Eigenschaft als vorhanden annehmen, nachdem durch die Fluoreszenzerscheinungen die Fähigkeit der X-Strahlen, verwandelt zu werden, nachgewiesen ist, und es sicher ist, dass nicht alle auffallenden X-Strahlen den Körper als solche wieder verlassen.

Die Retina des Auges ist für unsere Strahlen unempfindlich; das dicht an den Entladungsapparat herangebrachte Auge bemerkt nichts, wiewohl nach den gemachten Erfahrungen die im Auge enthaltenen Medien für die Strahlen durchlässig genug sein müssen.

[7. Nachdem ich die Durchlässigkeit verschiedener Körper von relativ grosser Dicke erkannt hatte, beeilte ich mich, zu erfahren, wie sich die X-Strahlen beim Durchgang durch ein

calcium, du verre à l'uranium, du verre ordinaire, de la calcite etc. Il est très significatif, sur plusieurs plans, que les plaques photographiques sèches sont sensibles aux rayons X. Nous sommes ainsi à même de déterminer plus précisément bien des phénomènes et d'éviter les erreurs. Chaque fois que cela a été possible, j'ai contrôlé par le moyen de la photographie toutes les observations importantes faites visuellement sur l'écran fluorescent. Dans ces expériences la propriété des rayons X de traverser presque sans altération de minces feuilles de bois, de papier ou d'étain est très importante. Les images photographiques peuvent être obtenues dans une pièce non obscure à l'aide de plaques photographiques dans leurs supports ou enveloppées de papier. Mais cette propriété implique que des plaques photographiques non développées ne peuvent pas être stockées longtemps à proximité du tube à décharge si elles ne sont protégées que par leur emballage de carton ou de papier. On peut se demander, cependant, si l'effet chimique sur les sels d'argent des plaques photographiques est directement causé par les rayons X. Il est possible que cette action résulte de la lumière fluorescente qui, comme il a été indiqué plus haut, est produite dans la plaque de verre elle-même ou peut-être dans la couche de gélatine. Des films peuvent être utilisés aussi bien que des plaques. Je n'ai pas encore été capable de prouver expérimentalement que les rayons X ont un pouvoir calorifique; mais nous pouvons déjà supposer que cet effet est présent puisque la capacité des rayons X à être transformés est prouvée par l'observation des phénomènes de fluorescence. Il est certain, en conséquence, que les rayons X qui tombent sur une substance ne la quittent pas comme tels. La rétine de l'œil n'est pas sensible à ces rayons. Même si l'œil est approché près du tube à décharge, il n'observe rien, bien que, comme l'expérience l'a prouvé, le milieu contenu dans l'œil est assez transparent pour transmettre les rayons.

7. Après avoir déterminé la transparence de diverses substances d'épaisseurs relativement considérables, je me suis hâté de voir comment les rayons X se comportaient en passant dans un prisme pour voir s'ils étaient déviés ou non.

Prisma verhalten, ob sie darin abgelenkt werden oder nicht. Versuche mit Wasser und Schwefelkohlenstoff in Glimmerprismen von ca. 30° brechendem Winkel haben gar keine Ablenkung erkennen lassen weder am Fluoreszenzschirm, noch an der photographischen Platte. Zum Vergleich wurde unter denselben Verhältnissen die Ablenkung von Lichtstrahlen beobachtet; die abgelenkten Bilder lagen auf der Platte um ca. 10 mm resp. ca. 20 mm von dem nicht abgelenkten entfernt. — Mit einem Hartgummi- und einem Aluminiumprisma von ebenfalls ca. 30° brechendem Winkel habe ich auf der photographischen Platte Bilder bekommen, an denen man vielleicht eine Ablenkung erkennen kann. Doch ist die Sache sehr unsicher, und die Ablenkung ist, wenn überhaupt vorhanden, jedenfalls so klein, dass der Brechungsexponent der X-Strahlen in den genannten Substanzen höchstens 1.05 sein könnte. Mit dem Fluoreszenzschirm habe ich auch in diesem Fall keine Ablenkung beobachten können.

Versuche mit Prismen aus dichteren Metallen lieferten bis jetzt wegen der geringen Durchlässigkeit und der in Folge dessen geringen Intensität der durchgelassenen Strahlen kein sicheres Resultat.

In Anbetracht dieser Sachlage einerseits und andererseits der Wichtigkeit der Frage, ob die X-Strahlen beim Uebergang von einem Medium zum anderen gebrochen werden können oder nicht, ist es sehr erfreulich, dass diese Frage noch in anderer Weise untersucht werden kann, als mit Hilfe von Prismen. Fein pulverisirte Körper lassen in genügender Schichtendicke das auffallende Licht nur wenig und zerstreut hindurch in Folge von Brechung und Reflexion; erweisen sich nun die Pulver für die X-Strahlen gleich durchlässig, wie die cohärente Substanz — gleiche Massen vorausgesetzt — so ist damit nachgewiesen, dass sowohl eine Brechung als auch eine regelmässige Reflexion nicht in merklichem Betrage vorhanden ist. Die Versuche wurden mit fein pulverisirtem Steinsalz, mit feinem, auf electrolytischem Wege gewonnenem Silberpulver und dem zu chemischen Untersuchungen vielfach verwandten Zinkstaub angestellt; es ergab sich in allen Fällen kein Unterschied in der Durchlässigkeit der Pulver und der cohärenten Substanz, sowohl bei der Beobachtung am Fluoreszenzschirm, als auch auf der photographischen Platte.

Des expériences avec de l'eau et du disulphite de carbone inclus dans un prisme en mica d'angle de réfraction d'environ trente degrés ne montrèrent aucune déviation ni sur l'écran fluorescent ni sur des plaques photographiques. Afin d'effectuer une comparaison la déviation de rayons de lumière ordinaire dans les mêmes conditions fut réalisée, et il fut noté que dans ce cas les images déviées tombaient sur la plaque à une distance de 10 ou 20 mm de l'image directe. Au moyen de prismes faits de gomme dure ou d'aluminium, d'angle de réfraction d'environ 30° , j'ai obtenu des images sur plaque photographique où de faibles déviations peuvent, peut-être, être reconnues. Cependant, le fait est très incertain; la déviation, si elle existe, étant si petite que, de toutes façons, l'indice de réfraction des X dans les substances nommées ne peut être tout au plus de 1.05. Je n'ai pas pu, non plus, observer une déviation sur un écran fluorescent.

Jusqu'à présent, des expériences avec des prismes faits de métaux plus denses n'ont pas donné de résultats probants à cause de la faible transparence et de l'intensité consécutivement diminuée des rayons transmis.

Compte tenu, d'une part, des conditions générales impliquées ici, et d'autre part de l'importance du fait de savoir si les rayons X peuvent ou non être réfractés en passant d'un milieu à un autre, il est préférable que le sujet soit étudié à l'aide d'une autre méthode que celle des prismes. Les corps divisés finement dans des plaques suffisamment épaisses diffusent la lumière incidente et ne permet qu'une faible transmission à cause de la réflexion et de la réfraction; si bien que si de les poudres sont aussi transparentes aux rayons X que les mêmes substances massiques, en supposant des masses identiques de matériau, il s'ensuit immédiatement que ni la réfraction ni la réflexion régulière n'ont lieu à un degré sensible. Des expériences furent tentées avec des sels de roche finement divisés, avec de la poudre d'argent électrolytique et avec de la poudre de zinc telle que celle utilisée en chimie. Dans tous ces cas, aucune différence ne fut détectée entre la transparence de la poudre et celle de la substance massique à l'aide d'observations photographiques ou à l'aide

Dass man mit Linsen die X-Strahlen nicht concentriren kann, ist nach dem Mitgetheilten selbstverständlich; eine grosse Hartgummlinse und eine Glaslinse erwiesen sich in der That als wirkungslos. Das Schattenbild eines runden Stabes ist in der Mitte dunkler als am Rande; dasjenige einer Röhre, die mit einer Substanz gefüllt ist, die durchlässiger ist als das Material der Röhre, ist in der Mitte heller als am Rande.

8. Die Frage nach der Reflexion der X-Strahlen ist durch die Versuche des vorigen Paragraphen als in dem Sinne erledigt zu betrachten, dass eine merkliche regelmässige Zurückwerfung der Strahlen an keiner der untersuchten Substanzen stattfindet. Andere Versuche, die ich hier übergehen will, führen zu demselben Resultat.

Indessen ist eine Beobachtung zu erwähnen, die auf den ersten Blick das Gegentheil zu ergeben scheint. Ich exponirte eine durch schwarzes Papier gegen Lichtstrahlen geschützte photographische Platte, mit der Glasseite dem Entladungsapparat zugewendet, den X-Strahlen; die empfindliche Schicht war bis auf einen frei bleibenden Theil mit blanken Platten aus Platin, Blei, Zink und Aluminium in sternförmiger Anordnung bedeckt. Auf dem entwickelten Negativ ist deutlich zu erkennen, dass die Schwärzung unter dem Platin, dem Blei und besonders unter dem Zink stärker ist als an den anderen Stellen; das Aluminium hatte gar keine Wirkung ausgeübt. Es scheint somit, dass die drei genannten Metalle die Strahlen reflectiren; indessen wären noch andere Ursachen für die stärkere Schwärzung denkbar, und um sicher zu gehen, legte ich bei einem zweiten Versuch zwischen die empfindliche Schicht und die Metallplatten ein Stück dünnes Blattaluminium, welches für ultraviolette Strahlen undurchlässig, dagegen für die X-Strahlen sehr durchlässig ist. Da auch jetzt wieder im Wesentlichen dasselbe Resultat erhalten wurde, so ist eine Reflexion von X-Strahlen an den genannten Metallen nachgewiesen.

Hält man diese Thatsache zusammen mit der Beobachtung, dass Pulver ebenso durchlässig sind, wie cohärente Körper, dass weiter Körper mit rauher Oberfläche sich beim Durchgang der X-Strahlen, wie auch bei dem zuletzt beschriebenen Versuch ganz gleich wie polirte Körper verhalten, so kommt man zu der Anschauung, dass zwar eine regelmässige Reflexion, wie gesagt, nicht stattfindet, dass aber die Körper sich den X-Strahlen gegenüber ähnlich verhalten, wie die trüben Medien dem Licht gegenüber.

de l'écran fluorescent. De ce qui vient d'être dit, on déduit qu'il est évident que les rayons X ne peuvent pas être concentrés par des lentilles, ni une grande lentille de gomme dure, ni une lentille de verre ne montrent un effet. La photographie de l'ombre d'un barreau rond est plus foncée au centre que sur le bord, cependant que celle d'un tube rempli d'une substance plus transparente que son propre matériau est plus claire au centre que sur le bord.

8. La question de la réflexion des rayons X peut être vue à l'aide des expériences mentionnées au paragraphe précédent, en faveur de l'opinion selon laquelle aucune réflexion régulière notable n'intervient pour les substances examinées. D'autres expériences que je ne décris pas ici ont mené à la même conclusion. Une observation doit cependant être mentionnée, car, à première vue elle semble prouver le contraire. J'ai exposé aux rayons X une plaque photographique qui était protégée par du papier noir et dont le côté en verre était tournée vers le tube à décharge délivrant les rayons X. Le film sensible était couvert sur la plus grande partie par des plaques polies de platine, plomb, zinc et aluminium disposées en étoile. Après développement on voyait clairement sur le négatif que l'assombrissement sous le platine, le plomb et particulièrement le zinc était plus fort que sous les autres plaques, l'aluminium n'ayant entraîné aucun effet. Il apparaît donc, que ces métaux réfléchissent les rayons. Puisque, cependant, d'autres explications pour ce renforcement de l'assombrissement sont concevables, j'ai, dans une autre expérience de confirmation, placé un morceau d'aluminium mince, qui est opaque aux ultraviolets mais transparent aux rayons X, entre le film sensible et les plaques de métaux. Le même résultat ayant été à nouveau obtenu, on peut considérer comme prouvé la réflexion des rayons X sur les métaux cités. Si nous comparons ce fait avec l'observation déjà mentionnée selon laquelle les poudres sont aussi transparentes que les matériaux massiques et avec le fait que les métaux dont les surfaces sont rugueuses ou polies transmettent identiquement les rayons X, comme le montre la dernière expérience, nous sommes conduits à la conclusion, déjà exprimée, que la réflexion régulière n'a pas lieu, mais que ces corps se comportent vis à vis des rayons X comme les milieux troubles vis à vis de la lumière.

Da ich auch keine Brechung beim Uebergang von einem Medium zum anderen nachweisen konnte, so hat es den Anschein, als ob die X-Strahlen sich mit gleicher Geschwindigkeit in allen Körpern bewegen, und zwar in einem Medium, das überall vorhanden ist, und in welchem die Körpertheilchen eingebettet sind. Die letzteren bilden für die Ausbreitung der X-Strahlen ein Hinderniss und zwar im Allgemeinen ein desto grösseres, je dichter der betreffende Körper ist.

9. Demnach wäre es möglich, dass auch die Anordnung der Theilchen im Körper auf die Durchlässigkeit desselben einen Einfluss ausübte, dass z. B. ein Stück Kalkspath bei gleicher Dicke verschieden durchlässig wäre, wenn dasselbe in der Richtung der Axe oder senkrecht dazu durchstrahlt wird. Versuche mit Kalkspath und Quarz haben aber ein negatives Resultat ergeben.

10. Bekanntlich ist *Lenard* bei seinen schönen Versuchen über die von einem dünnen Aluminiumblättchen hindurchgelassenen *Hittorf'schen* Kathodenstrahlen zu dem Resultat gekommen, dass diese Strahlen Vorgänge im Aether sind, und dass sie in allen Körpern diffus verlaufen. Von unseren Strahlen haben wir Aehnliches aussagen können.

In seiner letzten Arbeit hat *Lenard* das Absorptionsvermögen verschiedener Körper für die Kathodenstrahlen bestimmt und dasselbe u. a. für Luft von Atmosphärendruck zu 4,10, 3,40, 3,10 auf 1 cm bezogen gefunden, je nach der Verdünnung des im Entladungsapparat enthaltenen Gases. Nach der aus der Funkenstrecke geschätzten Entladungsspannung zu urtheilen, habe ich es bei meinen Versuchen meistens mit ungefähr gleichgrossen und nur selten mit geringeren und grösseren Verdünnungen zu thun gehabt. Es gelang mir mit dem *L. Weber'schen* Photometer — ein besseres besitze ich nicht — in atmosphärischer Luft die Intensitäten des Fluoreszenzlichtes meines Schirmes in zwei Abständen — ca. 100 resp. 200 mm — vom Entladungsapparat mit einander zu vergleichen, und ich fand aus drei recht gut mit einander übereinstimmenden Versuchen, dass dieselben sich umgekehrt wie die Quadrate der resp. Entfernungen des Schirmes vom Entladungsapparat verhalten. Demnach hält die Luft von den hindurchgehenden X-Strahlen einen viel kleineren Bruchtheil zurück als von den Kathodenstrahlen. Dieses Resultat

Puisque, de plus, je n'ai pas détecté de réfraction évidente de ces rayons lors de leur passage d'un milieu à un autre, il semblerait que les rayons X se déplacent avec la même vitesse dans toutes les substances ; et, de plus, que cette vitesse est la même dans le milieu présent que dans le milieu qui remplit l'espace et dans lesquelles les particules de matière sont baignées. Ces particules entravent la propagation des rayons X, l'effet étant d'autant plus grand, en général, que la substance concernée est plus dense.

9. Il est possible que l'arrangement des particules dans la substance exerce une influence sur sa transparence et que, par exemple, un morceau de calcite présente différents degrés de transparence pour la même épaisseur, selon qu'il est traversé dans la direction de son axe ou à angle droit avec celui-ci. Les expériences, cependant, avec la calcite et le quartz ont donné des résultats négatifs.

10. Il est bien connu que *Lenard* est arrivé à la conclusion, d'après ses belles expériences sur la transmission des rayons cathodiques de *Hittorf* à travers une mince feuille d'aluminium, selon laquelle ces rayons sont des phénomènes de l'éther, et qu'ils se diffusent à travers tous les corps. Nous pouvons dire la même chose de nos rayons. Dans ses plus récentes recherches *Lenard* a déterminé la capacité d'absorption de différentes substances pour les rayons cathodiques, et, entre autres, celle de l'air à des pressions atmosphériques de 4,10 ; 3,40 et 3,10 référées à 1 centimètre, selon la raréfaction de l'air contenu dans l'appareil de décharge. Si j'utilise les distances de claquage pour estimer la pression des décharges dans mes expériences, j'ai eu les mêmes ordres de grandeur de raréfaction et rarement des valeurs plus élevées ou plus faibles. J'ai réussi à comparer, à l'aide du photomètre de *L. Weber* (je n'en possède pas de meilleur) les intensités, prises dans l'air atmosphérique, de la fluorescence de mon écran à deux distances de mon appareil de décharge, à savoir 100 et 200 millimètres ; et j'ai trouvé à partir de trois expériences, qui concordent très bien entre elles, que les intensités varient inversement avec la carré de la distance. Il s'ensuit que l'air absorbe une bien plus faible fraction des rayons X que des rayons cathodiques. Ce résultat est en complet accord avec

ist auch ganz in Uebereinstimmung mit der oben erwähnten Beobachtung, dass das Fluorescenzlicht noch in 2 m Distanz vom Entladungsapparat wahrzunehmen ist.

Ähnlich wie Luft verhalten sich im Allgemeinen die anderen Körper: sie sind für die X-Strahlen durchlässiger als für die Kathodenstrahlen.

11. Eine weitere sehr bemerkenswerthe Verschiedenheit in dem Verhalten der Kathodenstrahlen und der X-Strahlen liegt in der Thatsache, dass es mir trotz vieler Bemühungen nicht gelungen ist, auch in sehr kräftigen magnetischen Feldern eine Ablenkung der X-Strahlen durch den Magnet zu erhalten.

Die Ablenkbarkeit durch den Magnet gilt aber bis jetzt als ein charakteristisches Merkmal der Kathodenstrahlen; wohlward von *Hertz* und *Lenard* beobachtet, dass es verschiedene Arten von Kathodenstrahlen gibt, die sich durch „ihre Phosphorescenzerzeugung, Absorbirbarkeit und Ablenkbarkeit durch den Magnet von einander unterscheiden“, aber eine beträchtliche Ablenkung wurde doch in allen von ihnen untersuchten Fällen wahrgenommen, und ich glaube nicht, dass man dieses Characteristicum ohne zwingenden Grund aufgeben wird.

12. Nach besonders zu diesem Zweck angestellten Versuchen ist es sicher, dass die Stelle der Wand des Entladungsapparates, die am stärksten fluorescirt, als Hauptausgangspunkt der nach allen Richtungen sich ausbreitenden X-Strahlen zu betrachten ist. Die X-Strahlen gehen somit von der Stelle aus, wo nach den Angaben verschiedener Forscher die Kathodenstrahlen die Glaswand treffen. Lenkt man die Kathodenstrahlen innerhalb des Entladungsapparates durch einen Magnet ab, so sieht man, dass auch die X-Strahlen von einer anderen Stelle, d. h. wieder von dem Endpunkte der Kathodenstrahlen ausgehen.

Auch aus diesem Grund können die X-Strahlen, die nicht ablenkbar sind, nicht einfach unverändert von der Glaswand hindurchgelassene resp. reflectirte Kathodenstrahlen sein. Die grössere Dichte des Glases ausserhalb des Entladungsgefässes kann ja nach *Lenard* für die grosse Verschiedenheit der Ablenkbarkeit nicht verantwortlich gemacht werden.

Ich komme deshalb zu dem Resultat, dass die X-Strahlen nicht identisch sind mit den Kathodenstrahlen, dass sie aber von den Kathodenstrahlen in der Glaswand des Entladungsapparates erzeugt werden.

l'observation mentionnée plus haut, qu'il est encore possible de détecter une lumière fluorescente à une distance de deux mètres du tube. Les autres substances se comportent en général comme l'air; elles sont plus transparentes aux rayons X qu'aux rayons cathodiques.

11 Une autre différence très importante entre le comportement des rayons X et les rayons cathodiques réside dans le fait que je n'ai pas réussi, en dépit de plusieurs essais, à obtenir une déflexion des rayons X par un aimant, même dans un champ intense. La possibilité de déflexion par un aimant a, jusqu'à présent, servi de propriété caractéristique des rayons cathodiques; cependant, *Hertz* et *Lenard* ont observé qu'il y avait différentes sortes de rayons cathodiques, 'qui sont distingués les uns par rapport aux autres par leur production de phosphorescence, par la valeur de leur absorption, et par l'étendue de leur déflexion par l'aimant.' Une déflexion considérable a toujours été notée dans tous les cas étudiés par eux, si bien que je ne pense pas que cette caractéristique doive être mise en avant, sauf cas exceptionnel.

12. Des expériences spécialement conçues montrent qu'il est certain que le spot dont la fluorescence est la plus élevée sur la paroi du tube à décharge peut être considéré comme le centre principal à partir duquel les rayons X rayonnent dans toutes les directions. Les rayons X proviennent de ce spot où, selon les différents expérimentateurs, les rayons cathodiques tombent sur la paroi de verre. Si les rayons cathodiques sont défléchis par un aimant à l'intérieur du tube, on observe que les rayons X proviennent d'un autre spot, celui qui est le nouveau terminus des rayons cathodiques. Pour cette raison, donc, les rayons X qu'il est impossible de défléchir, ne peuvent pas être des rayons cathodiques simplement transmis ou réfléchis sans changement par la paroi en verre. La densité du gaz à l'extérieur du tube ne peut certainement pas justifier la grande différence dans la déflexion, selon *Lenard*. J'arrive donc à la conclusion que les rayons X ne sont pas identiques aux rayons cathodiques, mais qu'ils sont produits par les rayons cathodiques sur la paroi de verre du tube à décharge.

13. Diese Erzeugung findet nicht nur in Glas statt, sondern, wie ich an einem mit 2 mm starkem Aluminiumblech abgeschlossenen Apparat beobachten konnte, auch in diesem Metall. Andere Substanzen sollen später untersucht werden.

14. Die Berechtigung, für das von der Wand des Entladungsapparates ausgehende Agens den Namen „Strahlen“ zu verwenden, leite ich zum Theil von der ganz regelmässigen Schattenbildung her, die sich zeigt, wenn man zwischen den Apparat und den fluorescirenden Schirm (oder die photographische Platte) mehr oder weniger durchlässige Körper bringt.

Viele derartige Schattenbilder, deren Erzeugung mitunter einen ganz besonderen Reiz bietet, habe ich beobachtet und theilweise auch photographisch aufgenommen; so besitze ich z. B. Photographien von den Schatten der Profile einer Thüre, welche die Zimmer trennt, in welchen einerseits der Entladungsapparat, andererseits die photographische Platte aufgestellt waren; von den Schatten der Handknochen; von dem Schatten eines auf einer Holzspule versteckt aufgewickelten Drahtes; eines in einem Kästchen eingeschlossenen Gewichtssatzes; einer Busssole, bei welcher die Magnetnadel ganz von Metall eingeschlossen ist; eines Metallstückes, dessen Inhomogenität durch die X-Strahlen bemerkbar wird; etc.

Für die geradlinige Ausbreitung der X-Strahlen beweisend ist weiter eine Lochphotographie, die ich von dem mit schwarzem Papier eingehüllten Entladungsapparat habe machen können; das Bild ist schwach aber unverkennbar richtig.

15. Nach Interferenzerscheinungen der X-Strahlen habe ich viel gesucht, aber leider, vielleicht nur in Folge der geringen Intensität derselben, ohne Erfolg.

16. Versuche, um zu constatiren, ob elektrostatische Kräfte in irgend einer Weise die X-Strahlen beeinflussen können, sind zwar angefangen aber noch nicht abgeschlossen.

17. Legt man sich die Frage vor, was denn die X-Strahlen, — die keine Kathodenstrahlen sein können — eigentlich sind, so wird man vielleicht im ersten Augenblick, verleitet durch ihre lebhaften Fluorescenz- und chemischen Wirkungen, an ultraviolette Licht denken. Indessen stösst man doch sofort auf schwerwiegende Bedenken. Wenn nämlich die X-Strahlen ultra-

13. Cette production n'a pas lieu seulement dans le verre. J'ai j'ai pu l'observer dans un appareil fermé par une plaque d'aluminium de 2 mm d'épaisseur. D'autres substances seront étudiées plus tard.

14. La justification pour appeler 'rayons' l'agent qui provient de la fenêtre d'un tube à décharge, provient en partie du fait qu'une ombre de formation entièrement régulière peut être vue lorsque des corps plus ou moins transparents sont placés entre le tube et l'écran fluorescent (ou la plaque photographique). J'ai observé et photographié de nombreuses ombres de cette sorte dont la production a un charme particulier. Je possède, par exemple, des photographies du profil d'une porte qui sépare les pièces dans lesquelles se trouvaient le tube d'une part et la plaque photographique d'autre part; l'ombre des os de la main; l'ombre d'un fil isolé enroulé sur une bobine; celle d'un lot de poids placés dans une boîte; celle d'un galvanomètre dont l'aiguille magnétique est entièrement entourée de métal; celle d'une pièce de métal dont le manque d'homogénéité est décelable au moyen des rayons X. Une autre preuve conclusive de la propagation rectilinéaire des rayons X est une photographie faite à partir d'une plaque percée d'un trou, que j'ai réussi à faire d'un tube à décharge entièrement enveloppé de papier noir; la photographie est faible mais correcte à coup sûr.

15. J'ai essayé de diverses façons de détecter des phénomènes d'interférences entre des rayons X, mais malheureusement sans succès, peut-être à cause de leur faible intensité.

16. Des expériences ont commencé, mais ne sont pas encore achevées, pour déterminer si les forces électrostatiques affectent d'une façon ou d'une autre les rayons X.

17. En considérant la question de savoir ce que sont les rayons X, qui, comme nous l'avons vu, ne peuvent pas être des rayons cathodiques, nous pouvons peut-être d'abord amenés à penser à une lumière ultraviolette, compte tenu de leur fluorescence active et de leurs actions chimiques. Mais en faisant cela nous nous trouvons opposés à de lourdes considérations. Si les rayons X sont de la lumière

violettes Licht sein sollten, so müsste dieses Licht die Eigenschaft haben:

- a) dass es beim Uebergang aus Luft in Wasser, Schwefelkohlenstoff, Aluminium, Steinsalz, Glas, Zink etc. keine merkliche Brechung erleiden kann;
- b) dass es von den genannten Körpern nicht merklich regelmässig reflectirt werden kann;
- c) dass es somit durch die sonst gebräuchlichen Mittel nicht polarisirt werden kann;
- d) dass die Absorption desselben von keiner anderen Eigenschaft der Körper so beeinflusst wird als von ihrer Dichte.

Das heisst, man müsste annehmen, dass sich diese ultravioletten Strahlen ganz anders verhalten, als die bisher bekannten ultrarothern, sichtbaren und ultravioletten Strahlen.

Dazu habe ich mich nicht entschliessen können und nach einer anderen Erklärung gesucht.

Eine Art von Verwandtschaft zwischen den neuen Strahlen und den Lichtstrahlen scheint zu bestehen, wenigstens deutet die Schattenbildung, die Fluorescenz und die chemische Wirkung, welche bei beiden Strahlenarten vorkommen, darauf hin. Nun weiss man schon seit langer Zeit, dass ausser den transversalen Lichtschwingungen auch longitudinale Schwingungen im Aether vorkommen können und nach Ansicht verschiedener Physiker vorkommen müssen. Freilich ist ihre Existenz bis jetzt noch nicht evident nachgewiesen, und sind deshalb ihre Eigenschaften noch nicht experimentell untersucht.

Sollten nun die neuen Strahlen nicht longitudinalen Schwingungen im Aether zuzuschreiben sein?

Ich muss bekennen, dass ich mich im Laufe der Untersuchung immer mehr mit diesem Gedanken vertraut gemacht habe und gestatte mir dann auch diese Vermuthung hier auszusprechen, wiewohl ich mir sehr wohl bewusst bin, dass die gegebene Erklärung einer weiteren Begründung noch bedarf.

Würzburg. Physikal. Institut der Universität. Dec. 1895.

ultraviolette, cette lumière doit avoir les propriétés suivantes :

En passant de l'air dans l'eau, le disulphide de carbone, l'aluminium, le verre, le zinc etc., elle ne subit pas de réfraction notable.

Elle ne peut pas être régulièrement réfractée mesurablement par les substances citées.

Elle ne peut pas être polarisée par les méthodes ordinaires.

Son absorption n'est pas influencée par les propriétés d'une substance autant que par la densité de cette substance.

Nous devons donc assumer que ces rayons ultraviolets se comportent entièrement différemment de la lumière infrarouge, visible et ultraviolette que nous avons connues jusqu'ici. J'ai été incapable d'arriver à cette conclusion, et j'ai donc cherché une autre explication. Il semble qu'il y ait une sorte de relation entre les nouveaux rayons et la lumière; au minimum cela est indiqué par la formation d'ombres, la fluorescence et l'action chimique produites dans les deux cas. Maintenant, nous savons depuis longtemps qu'il peut y avoir dans l'éther des vibrations longitudinales à côté des vibrations transversales de la lumière, et selon les vues de différents physiciens, ces vibrations doivent exister. Leur existence, il est vrai, n'a pas été prouvée à ce jour, et en conséquence, leurs propriétés n'ont pas été recherchées expérimentalement. Pourquoi, donc, les nouveaux rayons ne pourraient-ils pas être liés aux vibrations longitudinales de l'éther? Je dois avouer qu'au cours de mes recherches j'ai considéré de plus en plus cette idée comme correcte, ce qui m'a permis d'annoncer cette hypothèse, bien que je sois tout à fait conscient que cette explication a besoin d'être confirmée.

Würzburg. Physikal. Institut der Universität. Dec. 1895."